

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.03.024

## 模糊控制算法在移动机器人中的应用

乔俊福<sup>1</sup>, 温泽源<sup>2</sup>

(1. 太原工业学院自动化系, 太原 030008; 2. 山西北方兴安化学工业有限公司能源公司 太原 030008)

**摘要:** 针对移动机器人运动轨迹的控制问题, 提出采用模糊控制算法用于机器人运动轨迹控制的方法。采用光电传感器感知机器人的偏离角, 选用 Mamdani 模型设计了模糊控制器, 求得机器人的行走方位及纠偏大小, 从而实现准确导航。并应用 Matlab 对模糊控制器进行仿真。仿真及实际应用结果表明: 该控制器能提高机器人寻迹控制的精度, 使移动机器人稳定快速地寻白线移动。

**关键词:** 移动机器人; Matlab; 模糊控制

**中图分类号:** TP242.6 **文献标志码:** A

## Application of Fuzzy Control Algorithm in Mobile Robot

Qiao Junfu<sup>1</sup>, Wen Zeyuan<sup>2</sup>

(1. Dept. of Automation, Taiyuan Institute of Technology, Taiyuan 030008, China;

2. Energy Company, Shanxi North Xing'an Chemical Industries Co., Ltd., Taiyuan 030008, China)

**Abstract:** Aiming at the mobile robot trajectory control problem, propose a method of fuzzy control algorithm for robot trajectory control. Adopt perceived deviation angle of robot with electro-optical sensors, select Mamdani model to design fuzzy controller, acquire the robot walking directions and rectification of the size, and realize accurate guidance. And simulate fuzzy controller based on Matlab. The simulation and application result shows that the controller can improve the accuracy of robot tracking control to enable stable mobile robots found white lines moving quickly.

**Key words:** mobile robot; Matlab; fuzzy control

### 0 引言

机器人的关键技术是对机器人的控制。控制算法的主要任务是保证机器人实现有目的的运动<sup>[1]</sup>。机器人的运动控制常采用 PID 控制, 但在实际应用中, 由于各种环境因素的影响, PID 控制器参数的全局整定极为困难, 而且智能性较差。模糊控制具有模拟人脑思维和控制的特点, 而智能机器人具有能模拟或代替人的部分功能, 对机器人的控制采用模糊控制无疑是很适合的<sup>[2]</sup>。因此, 笔者针对机器人控制问题, 研究了模糊控制算法在移动机器人中的应用, 并用 Matlab 对模糊控制器进行了仿真。

### 1 模糊控制原理

模糊控制的核心部分是模糊控制器 (fuzzy logic controller, FLC), 主要包括输入量的模糊化、模糊推理和逆模糊化 (或称模糊判决) 3 部分<sup>[2]</sup>。模糊控制器的实现可由模糊控制通用芯片实现或由计算机 (或微处理机) 的程序来实现, 用计算机实现的具体过程是: 先将精确量转化为模糊量, 然后根据语法规则, 进行模糊推理, 实现对被控对象的控制。

Mamdani 教授用来控制蒸汽机的模糊模型一般

被称作为 Mamdani 模糊模型, 它的规则为条件确定的 IF...THEN 规则。在后来的研究中, 许多学者也提出了其它形式的模糊模型, 其中最为著名的就是由日本学者 Takagi 和 Sugeno 于 1985 年提出的 Sugeno 模糊模型<sup>[1]</sup>。相比较而言, Mamdani 模型结构简单, 计算方便, 因此, 笔者选用 Mamdani 模型来设计模糊控制器<sup>[3]</sup>。

### 2 模糊控制器设计与仿真研究

#### 2.1 模糊控制器输入和输出变量的选择

由于模糊控制器的控制规则是模拟人脑的思维决策方式。一般把误差、误差的变化以及误差变化的速率作为模糊控制器的输入变量, 而控制量的变化作为控制器的输出变量。

在上述的 3 个输入变量中, 人对于误差最敏感, 其次是误差的变化, 而对于误差变化的速率最不敏感。因此, 笔者在此采用以误差和误差的变化为输入变量的二维模糊控制器。其输出变量一般为控制量或控制量的增量。

#### 2.2 模糊控制器控制规则的设计

设计模糊控制器的关键就是模糊控制规则的设计

收稿日期: 2011-11-13; 修回日期: 2011-12-07

基金项目: 太原工业学院青年基金项目 (2009LQ05)

作者简介: 乔俊福 (1979—), 男, 山西人, 从事智能控制机器人控制及计算机控制技术研究。

计。一般包括 3 部分内容：描述输入、输出变量的词集的选择，各模糊变量的模糊子集的定义和模糊控制器的控制规则的建立。

为了便于描述输入输出变量的状态，选用“大、中、小”3 个词汇，再加上正负 2 个方向并考虑上零状态，最后就有 7 个词汇来构成，即

{负大，负中，负小，零，正大，正中，正小}  
也可以用英文词头缩写来表示：  
{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB}

### 3 移动机器人模糊控制器的设计

笔者利用模糊控制器来实现对移动机器人运动轨迹的控制，机器人的航向角为被控对象，如果偏离角度  $\Delta\phi$  即  $e$  值为 0，则移动机器人沿直线行走，若航向角有变化则说明小车在作拐弯运动<sup>[4]</sup>。

#### 3.1 移动机器人的检测方案

检测方案采用红外发射管和接收管做成的光电传感器检测场地颜色与线迹，对比处理后得知机器人的行走方位及决定纠偏大小，从而实现准确导航。寻迹白线宽 3 cm，小车前排安装了 11 个传感器，后排安装了 7 个传感器，如图 1。在后排巡线灯的安装上，最好是两边对称的非线性安装，也就是说中间的巡线灯安装可以稍密一些，往边上逐渐疏一些，这样就可以减少硬件成本和程序复杂度。

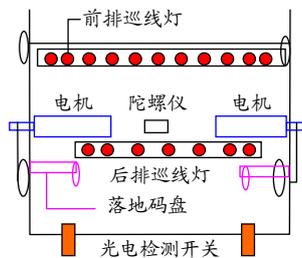


图 1 机器人底盘结构

巡线灯内部电路包括了红外发射接收管，还有一个可以调整距离的可调电阻，其电路设计如图 2。

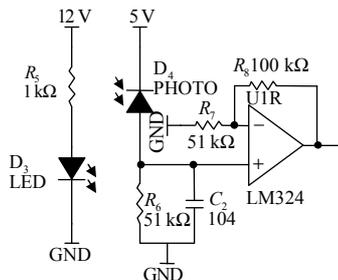


图 2 巡线灯电路原理

笔者在巡线模块中采用 Atmega8 来采集现场巡线灯状态，首先巡线灯信号先通过带有真差动输入的四运算放大器 LM324 放大 2 倍并进行了低通滤波后，再通过 Atmega8 单片机控制 8 通道数字控制模拟电子开关 CD4051 选择其中一路通道进入 Atmega8 单片机 ADC0 口，然后单片机进行 AD 转换后，再通过总线 SPI 接口向上位机发送信息。

前排总共可能存在 11+10=21 种检测状态，如下所示：

```
*****+ #1
*****++ #2
*****+* #3
*****++* #4
*****+** #5
.....
++***** #20
+***** #21
```

后排总共可能存在 7+6=13 种检测状态，如下：

```
*****+ #1
*****++ #2
*****+* #3
.....
++***** #12
+***** #13
```

注：“\*”表示传感器没有检测到白线；“+”表示传感器检测到了白线；“#XX”表示传感器状态值。

以后排传感器状态值作为位置基准，当后排传感器状态值为#8 时，笔者认为白线处在中间位置。

$$e = x_1 - x_2 - 4 \tag{1}$$

其中： $e$  是角度偏差； $x_1$  表示后排传感器状态值； $x_2$  表示前排传感器状态值。减去 4 是为了保证前后两排传感器处于中间位置时偏差值为 0，例如：前排状态值为 11，后排为 7，此时车子处于正直位置，偏差  $e$  应为 0， $11 - 7 - 4 = 0$ 。

$$\Delta e = e_{t-1} - e_t \tag{2}$$

$\Delta e$  是偏差的差分；输出  $U$  为左右两轮差速值。处理中将左轮在其基础值  $U_0$  上减  $U$ ，右轮在其基础值  $U_0$  上加  $U$ ，例如：已经设定基础值  $U_0 = 1000$ ，计算出  $U = 50$ ，则将左轮减速 50 变为 950，右轮加速 50，变为 1050。

### 3.2 移动机器人的模糊控制器设计

1) 输入、输出变量论域离散化

$e \in (-16, 16)$  , 变换论域并离散

$X' = \{-8, -7, \dots, 7, 8\}$  , 对应变量  $e^*$  。

$\Delta e \in (-8, 8)$  , 变换论域并离散  $Y' = \{-8, -7, \dots, 7, 8\}$  ,

对应变量  $\Delta e^*$  。

$u \in (-800, 800)$  , 变换论域并离散

$Z' = \{-30, -29, \dots, 29, 30\}$  , 对应变量  $u^*$

2) 定义模糊集合及其隶属度函数表

$e^*$  定义 9 个模糊集合:  $PL$ 、 $PM$ 、 $PS$ 、 $PZ$ 、 $Z$ 、 $NZ$ 、 $NS$ 、 $NM$ 、 $NL$ ;

$u^*$  定义 7 个模糊集合:  $PL$ 、 $PM$ 、 $PS$ 、 $Z$ 、 $NS$ 、 $NM$ 、 $NL$ ;

$\Delta e^*$  定义 9 个模糊集合:  $PL$ 、 $PM$ 、 $PS$ 、 $PZ$ 、 $Z$ 、 $NZ$ 、 $NS$ 、 $NM$ 、 $NL$ 。

为了写出其隶属度函数表, 先将各离散变量看作连续的, 在连续的隶属度函数上取各个离散点的值, 再填写列表。

对 3 个变量  $e^*$ 、 $\Delta e^*$ 、 $u^*$  均采用三角形隶属度函数,  $e^*$  的隶属度函数如图 3。

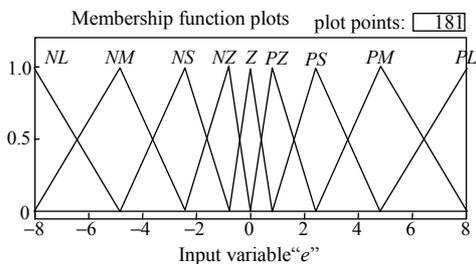


图 3  $e^*$  的隶属度函数

$\Delta e^*$  的隶属度函数如图 4。

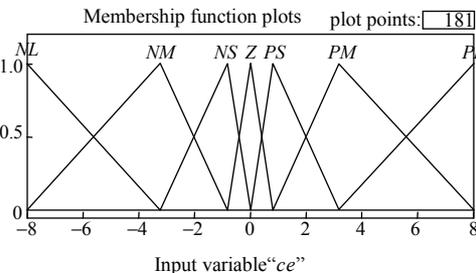


图 4  $\Delta e^*$  的隶属度函数

$u^*$  的隶属度函数如图 5。

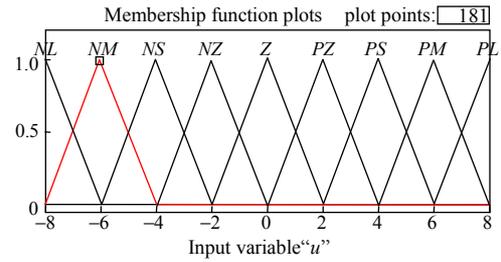


图 5  $u^*$  的隶属度函数

3) 设置模糊控制规则集

如表 1 所示, 表格中第 2 行、第 1 列的含义如下:

if E=NL and EC=PL then U=PSE 即为  $e^*$  , 各模糊集合中带“N”的表示“负”, 即向左; 带“P”的表示“正”, 即向右。EC 即为  $\Delta e^*$  为偏差的变化量, 各模糊集合中带“N”的表示“负”, 即在减弱, 带“P”的表示“正”, 即这种变化在增强<sup>[2]</sup>。

表 1 模糊控制规则表

$\Delta e^*$	$e^*$								
	NL	NM	NS	NZ	Z	PZ	PS	PM	PL
PL	PS	PZ	Z	NZ	NS	NL	NL	NL	NL
PM	PM	PS	PZ	Z	NZ	NM	NM	NL	NL
PS	PL	PM	PS	PZ	Z	NS	NM	NL	NL
Z	PL	PM	PS	PZ	Z	NZ	NS	NM	NL
NS	PL	PL	PM	PS	Z	NZ	NS	NM	NL
NM	PL	PL	PM	PM	PZ	Z	NZ	NS	NM
NL	PL	PL	PL	PL	PS	PZ	Z	NZ	NS

例如 if E=NL and EC=PL 应理解为: 车子左偏达到最大, 并且这种(向左偏)趋势增加最大。输出  $u^*$  代表了给左右 2 个电机电压的变化量。为了控制方便, 左侧电机为“ $u^*$ ”, 右侧电机为“ $u^*$ ”, 在基准值上左减右加。根据表 1, 所得模糊规则编辑器如图 6。

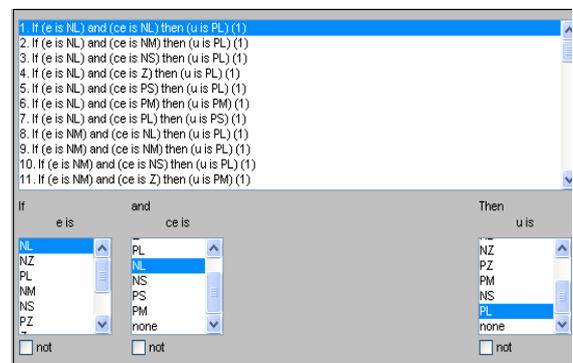


图 6 模糊规则编辑器

#### 4) 求取模糊控制查询表

模糊关系矩阵  $R$ :

$$R = \bigcup_{\forall i,j,k} (E_i \times \Delta E_j) \times U_k$$

将各种组合输入与  $R$  作用求解输出  $U'$ :

$$U' = (E' \times \Delta E') \cdot R$$

$U'$  中最大隶属度对应的  $u^*$  作为输出, 可以得到控制查询表。

### 3.3 使用 Matlab 辅助计算

Matlab 工具包中的自带的图形界面工具中可以直接使用其隶属度函数编辑器设定隶属度函数, 还可以直接把总结出的规则输入规则编辑器<sup>[4]</sup>。

Matlab 可以将控制曲面计算输出, 如图 7。

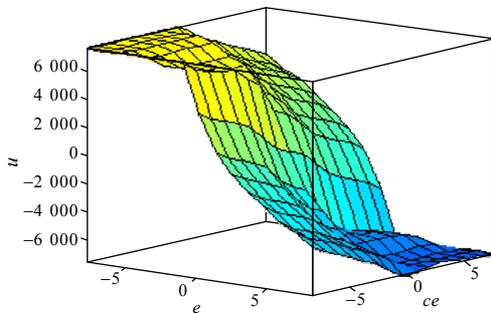


图 7 输出曲线

使用 Matlab 的 evalfis 函数, 对给定输入计算其输出<sup>[5]</sup>。

先用 readfis 函数将建立的 FIS 赋给一个变量<sup>[6]</sup>。a=readfis('qiaojunfu');

例如,  $E=-8, CE=-8$  时, 使用 evalfis([-8 -8],a), 可以得到结果: 27。

这样逐个计算也很麻烦, 因此用一个双层嵌套循环将各个输出值计算出来, 存入矩阵  $A$  中。代码如下:

```

for i=-8:8
    for j=-8:8
        A(i+9,j+9)=evalfis([i,j],a);
    end
end

```

将得到计算结果整理出来就可以得到模糊控制查询表。至此, 一个 Mamdani 型的模糊推理系统已经建立。

### 4 模糊控制算法流程图

在编写模糊控制算法时候按照以下流程图实

现, 如图 8。

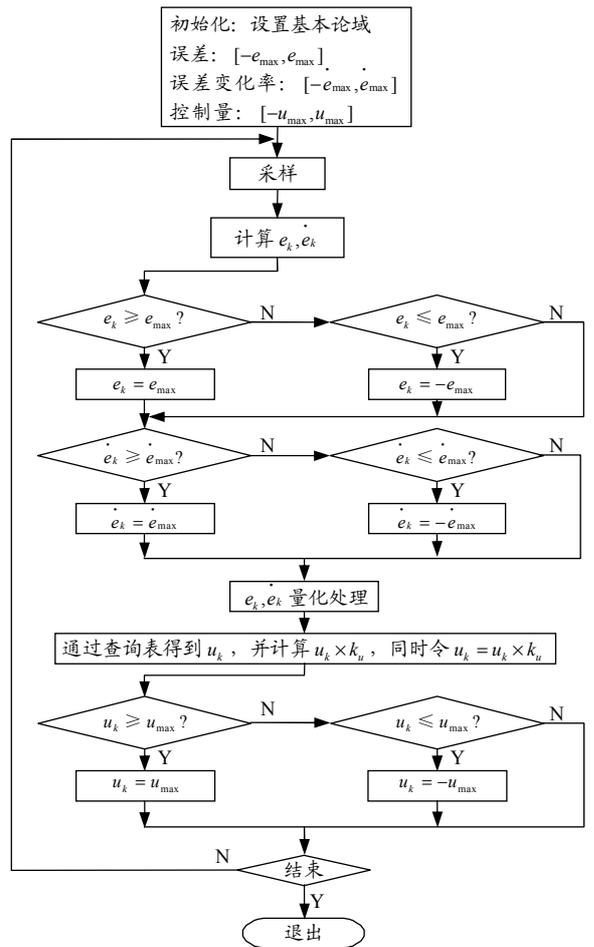


图 8 模糊控制算法流程图

### 5 结论

笔者采用 Atmega8、光电传感器构成的模糊控制系统, 具有良好的可靠性、稳定性和准确性, 克服了传统 PID 控制机器人时带来全局整定极为困难、智能性较差等缺点, 具有十分广阔的应用前景。

### 参考文献:

- [1] 王炎, 周大威. 移动式服务机器人的发展现状及我们的研究[J]. 电气传动, 2000(4): 3-7.
- [2] 徐国保, 尹怡欣, 周美娟. 智能移动机器人技术现状及展望[J]. 机器人技术与应用, 2007(2): 15-18.
- [3] 张继军. 自主式移动机器人控制系统设计与模糊控制实现[D]. 中国海洋大学硕士毕业论文, 2004, 6.
- [4] 李国勇. 智能控制及其 Matlab 实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 46-85.
- [5] 吴晓莉, 林哲辉. Matlab 辅助模糊控制系统设计[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002: 50-55.
- [6] 刘金馄. 机器人控制系统的设计与 Matlab 仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.